

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-275123

(P2000-275123A)

(43) 公開日 平成12年10月6日 (2000. 10. 6)

(51) Int.Cl.⁷

G 0 1 L 5/00
1/16

識別記号

1 0 1

F I

G 0 1 L 5/00
1/16

テ-マ-ト (参考)

1 0 1 Z 2 F 0 5 1
B

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号

特願平11-82448

(22) 出願日

平成11年3月25日 (1999. 3. 25)

(71) 出願人 000219602

東海ゴム工業株式会社

愛知県小牧市東三丁目1番地

(72) 発明者 佐藤 明生

愛知県小牧市大字北外山字哥津3600番地

東海ゴム工業株式会社内

(72) 発明者 片山 晶雅

愛知県小牧市大字北外山字哥津3600番地

東海ゴム工業株式会社内

(74) 代理人 100079382

弁理士 西藤 征彦

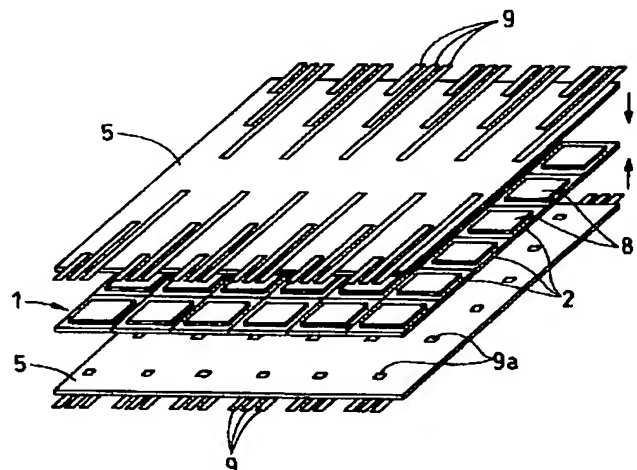
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分布センサ

(57) 【要約】

【課題】 圧力、力等の分布を高密度かつ高感度に測定することができ、また、繰り返し使用でき、しかも、一枚のシート状に形成された分布センサを提供する。

【解決手段】 可撓性基板の両面に圧電結晶薄膜が形成され、この圧電結晶薄膜に電極層8が取り付けられた圧電素子2を、マトリックス状に並べて一枚のシート状に形成した圧電素子集合体1と、この圧電素子集合体1の両面をラミネートする絶縁フィルム5とからなっており、この絶縁フィルム5には、上記電極層8に接続される端子9が所要のパターンに形成されている。



1 : 圧電素子集合体

2 : 圧電素子

5 : 絶縁フィルム

8 : 電極層

9 : 端子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 可撓性基板の片面もしくは両面に圧電結晶薄膜が形成され、この圧電結晶薄膜に電極が取り付けられた圧電素子が複数個、任意に並べられて一枚のシート状に形成され、各電極に端子が接続されていることを特徴とする分布センサ。

【請求項2】 上記圧電素子の裏面側に、支持部材が設けられており、上記支持部材によって各圧電素子が持ち上げ保持されている請求項1記載の分布センサ。

【請求項3】 上記支持部材が、下地基材と、この下地基材上に設けられ上記圧電素子裏面を部分的に支持する支持スペーサとで構成されている請求項2記載の分布センサ。

【請求項4】 上記支持部材が、上記圧電素子裏面全面に貼着される弾性体で構成されている請求項2記載の分布センサ。

【請求項5】 上記圧電素子の表面側に、一枚のシート状カバーが設けられており、上記カバー下面には、持ち上げ保持された各圧電素子の表面を部分的に押圧しうる凸部が所定間隔で突設されている請求項2～4のいずれか一項に記載の分布センサ。

【請求項6】 上記圧電素子が、圧電定数0.1～20 pC/N、曲げ剛性 $1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^3$ N・mmの特性を示すものである請求項1～5のいずれか一項に記載の分布センサ。

【請求項7】 上記圧電結晶薄膜が鉛を含有する複合酸化物薄膜である請求項1～6のいずれか一項に記載の分布センサ。

【請求項8】 上記圧電結晶薄膜が水熱合成によって形成されたものである請求項1～7のいずれか一項に記載の分布センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、圧力（空気等の流体の圧力、固体の接触圧、音圧等）、力等の分布を測定することのできる分布センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、圧力センサ、力センサの開発が進み、民生用電子機器、家電・住設用電子機器、セキュリティ機器、健康器具、オートメーションファクトリ、自動車、事務機器等、様々な用途に用いることが検討され、一部使用されている。また一方で、圧力分布等の分布測定についても、設計・開発分野等で色々利用され、正確に分布を測定でき、安価で取り付けやすい分布センサの要求が高まっている。このような圧力分布を測定できるセンサとしては、焼結PZT（チタン酸ジルコン酸鉛）を用いた圧電式センサや、歪みゲージ式センサ、感圧導電ゴム式センサ、発色剤式センサ等があげられる。

【0003】そして、図22に示すように、例えばスポーツシューズ51の中の底面に作用する圧力の分布を知

りたい場合には、複数の圧電式センサ52または歪みゲージ式センサをスポーツシューズ51の中の底面に取り付け、それぞれの圧電式センサ52または歪みゲージ式センサに作用する圧力を測定することにより、圧力の分布を知ることができる。また、図23に示すように、自動車の座席シート53の表面に作用する圧力の分布を知りたい場合にも、同様にして圧力の分布を知ることができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記圧電式センサ（焼結PZT使用）52および歪みゲージ式センサは、高価なため経済的でなく、しかも、1素子の面積が大きいと、高密度に分布させることが困難である。このため、上記圧電式センサ52および歪みゲージ式センサを用いて圧力の分布を高密度に測定することは困難であるという問題がある。また、これらのセンサを、上記図22や図23に示すように、所定間隔で1個ずつ取り付けることは煩雑で、適正な間隔に設定しにくいという問題がある。そして、このような取り付け形態では、ある程度広い面全体にわたって与えられる圧力、力等を正確に測定することができない。

【0005】また、上記感圧導電ゴム式センサや発色剤式センサでは、マトリックス状に圧力分布が測定できるセンサが開発されている。しかしながら、感圧導電ゴム式センサは、リニア精度に劣り、繰り返し使用により性能が劣化するという問題がある。さらに、発色剤式センサは、使い捨てであるため、1回しか使用できないという問題がある。

【0006】本発明は、このような事情に鑑みなされたもので、圧力（空気等の流体の圧力、固体の接触圧、音圧等）、力等の分布を高密度かつ高感度に測定することができ、また、繰り返し使用でき、しかも一枚のシート状に形成された分布センサの提供をその目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明の分布センサは、可撓性基板の片面もしくは両面に圧電結晶薄膜が形成され、この圧電結晶薄膜に電極が取り付けられた圧電素子が複数個、任意に並べられて一枚のシート状に形成され、各電極に端子が接続されているという構成をとる。

【0008】すなわち、本発明の分布センサは、圧力、力等の分布を測定しようとする対象物体の表面に沿うように取り付けたり、物体の内部に埋め込んだりして、簡単に、高密度かつ高感度で圧力、力等の分布測定を行うことができる。しかも、安価で経済的であり、また、繰り返し使用しても性能が変化しない。なお、本発明において、「一枚のシート状」とは、一枚の板状だけでなく、対象物体の表面形状に沿うように（例えば曲面状に）薄く装着することができる状態を含む意味である。

【0009】また、本発明において、上記圧電素子の裏

面側に、支持部材が設けられており、上記支持部材によって各圧電素子が持ち上げ保持されている場合には、感知面が柔軟で対象物体の表面を損傷しないだけでなく、圧力変化に対し優れた感度と応答性を発揮する。そのなかでも特に、上記圧電素子の表面側に、一枚のシート状カバーが設けられ、上記カバー下面に、持ち上げ保持された各圧電素子の表面を部分的に押圧しうる凸部が所定間隔で突設されている場合には、上記凸部で集中的に圧電素子を押圧することができるため、より大きく、しかも偏りなく圧電素子が変位し、センサ出力がより安定化する。

【0010】さらに、本発明において、上記圧電素子が、圧電定数 $0.1 \sim 20 \text{ pC/N}$ 、曲げ剛性 $1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$ の特性を示すものである場合には、とりわけ優れた出力性能を備えている。

【0011】また、本発明において、上記圧電結晶薄膜として鉛を含有する複合酸化物薄膜を用いたセンサ、そして、上記圧電結晶薄膜を水熱合成によって形成したセンサも、特に優れた性能を備えている。

【0012】

【発明の実施の形態】つぎに、本発明の実施の形態を図面にもとづいて詳しく説明する。

【0013】図1は、本発明の分布センサの一実施の形態を示している。この実施の形態では、分布センサは、平面視四角形状の圧電素子2を縦6列・横6列の平面的なマトリックス状に並べて一枚のシート状に形成した圧電素子集合体1（図2参照）と、この圧電素子集合体1の両面をラミネートする絶縁フィルム5とからなっている。

【0014】上記圧電素子2は、図3に示すように、平面視四角形状の可撓性基板6と、この可撓性基板6の両面に形成された圧電結晶薄膜7と、この圧電結晶薄膜7の表面に圧電結晶薄膜7よりもひとまわり小さく形成された電極層（電極）8とで構成されている。また、上記圧電結晶薄膜7は、可撓性基板6よりもひとまわり小さく形成されてもよい。なお、図1および図2では、圧電素子2の可撓性基板6と圧電結晶薄膜7との積層構造を省略している。

【0015】また、上記絶縁フィルム5の表面には、端子9（図1参照）が所要のパターンに形成されており、そのうち端子9の先端部分は、上記絶縁フィルム5の裏面に貫通し、電極9aとして上記圧電素子2の電極層8に接続されている。

【0016】そして、上記絶縁フィルム5の裏面を上記圧電素子集合体1に重ねた状態で絶縁フィルム5がラミネートされている。すなわち、上記圧電素子集合体1と絶縁フィルム5とは、電極層8が形成されていない部分で粘着剤または接着剤を介して密着されている。また、端子9が形成された絶縁フィルム5の表面には、端子9を保護するための保護フィルムが設けられることが好ま

しい。

【0017】また、上記圧電素子2は、どのようにして得られるものであってもよいが、特に、水熱合成法によって可撓性基板6の表面に圧電結晶薄膜7を形成して得られるものが好適である。

【0018】上記可撓性基板6としては、可撓性を備え、水熱合成時の加熱加圧条件に耐えうるものが好適であり、金属の、薄板、箔、フィルム等が用いられる。上記金属の例としては、ステンレス、鉄、アルミニウム、チタン、鉛等の金属、またはこれらの金属を含む合金があげられる。ただし、可撓性基板6上に形成される圧電結晶薄膜7をこの可撓性基板6と強固に接合させるには、可撓性基板6の最表面にチタン成分が含有されていることが好ましい。そこで、可撓性基板6として、チタン製のものを用いるか、チタン製以外のものである場合には、その表面に、チタン成分を析出させるか塗布する等の手段を講じることが好ましい。

【0019】なお、上記可撓性基板6の厚みは、 $2 \sim 200 \mu\text{m}$ 、なかでも $5 \sim 150 \mu\text{m}$ に設定することが好適である。すなわち、厚みが $2 \mu\text{m}$ 未満では、水熱合成法で圧電結晶薄膜を得る場合に、上記可撓性基板6が水熱合成中に変形するおそれがあり、逆に厚みが $200 \mu\text{m}$ を超えると、センサ表面の柔軟性が乏しくなり、センサからの大きな出力が得られなくなるおそれがあるからである。また、上記可撓性基板6の縦横の長さは、センサが使用される対象物の大きさに応じて、自由に設定することができる。

【0020】また、圧電結晶薄膜7の組成は、圧電特性を備えるものであれば、どのようなものであっても差し支えないが、上記水熱合成によって得るのに適した組成に設定することが好適である。このような組成としては、ペロブスカイト（ ABO_3 ）構造の複合酸化物があげられる。そして、上記Aサイトとしては、通常、Pb、Ba、Ca、Sr、LaおよびBiから選択される少なくとも1種の元素があげられ、上記Bサイトとしては、Ti単独か、Zr、Zn、Ni、Mg、Co、W、Nb、Sb、TaおよびFeから選択される少なくとも1種の元素とTiとの複合物があげられる。このような複合酸化物の例としては、 $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 、 PbTiO_3 、 BaTiO_3 、 SrTiO_3 、 $(\text{Pb}, \text{La})(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ 等があげられる。

【0021】水熱合成は、通常、上記組成を構成しうる金属元素を含む金属塩の水溶液をアルカリ性に調整してなる水溶液と、可撓性基板6とを、オートクレーブに装入し加圧下で加熱することにより行う。これにより、可撓性基板6の表裏面に、圧電結晶薄膜7が形成される（バイモルフ型）。なお、ユニモルフ型を得る場合には、可撓性基板6の片面を耐熱、耐アルカリ性のレジスト材で被覆して水熱合成を行うか、あるいは可撓性基板6の表裏面に形成された圧電結晶薄膜7のうち片面側の

圧電結晶薄膜7を削り落とすようにする。

【0022】このようにして得られる圧電結晶薄膜7の厚みは、通常、0.5～100μm、特に1～30μmに設定することが好適である。すなわち、厚みが0.5μm未満では充分なセンサ出力が得られにくく、逆に100μmを超えるとせっかく可撓性基板6を用いているにもかかわらず、センサ表面の柔軟性が乏しくなるおそれがあるからである。

【0023】なお、上記水熱合成は、特開平4-342489号公報に開示されているように、結晶核生成と結晶成長の2段階に分けて行うようにしてもよいし、あるいは、特開平9-217178号公報、特開平9-278436号公報に開示されているように、1段階のみで合成を行ってもよい。また、特開平9-278436号公報に開示されているように、上記オートクレーブを、鉛直方向に振動させながら行うようにしてもよい。この場合、例えば図4に示すように、加熱手段(図示せず)と攪拌手段11を備えた耐熱容器(オイルバス等)12内に、オートクレーブ10を、支受手段13、14によって上下可動に支受し、鉛直方向に1Hz以上、特に3～50Hzの振動をかけながら水熱合成を行うようにすることが好適である。

【0024】さらに、上記水熱合成によって得られた可撓性基板6-圧電結晶薄膜7積層体の表面を封孔処理してもよい(特願平8-277826号公報)。上記封孔処理は、(a)樹脂、セラミック等の絶縁材料を用いて圧電結晶薄膜7の多孔質部分およびピンホールを絶縁物で埋める方法、(b)上記積層体を高温酸化性雰囲気下に置き、圧電結晶薄膜7による被覆がされていないか、あるいは被覆が不十分なピンホール部分に絶縁性酸化皮膜を形成する方法、のいずれかの方法により行うことができる。この封孔処理により、得られる圧電素子2の性能を向上させることができる。

【0025】上記封孔処理に使用する絶縁材料またはその前駆材料は、有機系、無機系のいずれでもよい。有機系材料としては、例えばポリ塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリエステル、ポリカーボネート、ポリアミド、ポリイミド、エポキシ樹脂、フェノール樹脂、尿素樹脂、アクリル樹脂、ポリアセタール、ポリサルフォン、液晶ポリマー、PEEK(ポリエーテルエーテルケトン)等があげられる。また、無機系材料としては、例えばアルミナ、ジルコニア、シリカ、チタニア等の材料をベースにしたセラミックコーティング材料、金属アルコキシドやポリシラザン等のセラミック前駆体等があげられる。

【0026】また、センサを対象物体に沿わせた形状(例えば曲面状)にした場合には、予め、可撓性基板6をその形状にし、水熱合成により圧電結晶薄膜7を形成させる。

【0027】このようにして、可撓性基板6の両面に圧

電結晶薄膜7を形成したのち、図3に示すように、その両面に、電極層8を形成することにより、圧電素子2を得ることができる。

【0028】上記電極層8の形成は、Al、Ni、Pt、Au、Ag、Cu等の導電材料を、上記圧電結晶薄膜7の表面に堆積させるか、これを被覆することによって行われる。その方法は、特に限定するものではなく、例えば導電ペーストの塗布、無電解メッキ法、スパッタリング法、化学蒸着法等を用いることができる。そして、上記電極層8の厚みは、通常、1μm以下、特に0.1μm以下に設定することが好適である。

【0029】このようにして得られた圧電素子2は、図2に示すように、例えば縦6列・横6列のマトリックス状に並べられて一枚のシート状に形成され、圧電素子集合体1とされる。そして、図1に示すように、この圧電素子集合体1の両面に、上記絶縁フィルム5の裏面が当接され、絶縁フィルム5の裏面に貫通した端子9の先端部分の電極9aが上記圧電素子2の電極層8に接続されるようにして、絶縁フィルム5がラミネートされる。

【0030】このようにして得られた分布センサは、圧力、力等の分布を測定することを目的として、対象となる物体の表面に取り付けられる。あるいは、物体の内部に埋め込まれる。そして、各圧電素子2が感知する圧力等を検知することにより、圧力等の分布を測定することができる。したがって、上記分布センサは、スポーツシューズや自動車の座席シート的设计関連、工作機械、製造システム、物流システム等に使用される。

【0031】また、上記分布センサは、従来の焼結PZTを用いた圧電式センサ52(図22参照)および歪みゲージ式センサと比較すると、増幅器が不要となるため、製造工程が短く、低コストが可能となり、さらに、厚みが薄くなるため、高密度化(1素子の小型化)に対応しやすい。また、従来と比較して1つ1つ圧力センサを並べていく作業が不要となる。また、従来の感圧導電ゴム式センサと比較すると、ゴムの変形を利用したセンサではないため、リニア精度に優れ、繰り返し使用により性能が変化しない。また、従来の発色剤式センサと異なり、繰り返し使用することができる。

【0032】なお、圧電素子集合体1は、圧電素子2を上記縦6列・横6列の平面的なマトリックス状に形成したものに限らず、複数個の圧電素子2をどのような曲面に沿って並べたものであってもよい。例えば、圧電素子2を並べた圧電素子集合体1を、ロボットハンド表面の曲面に沿う形状にしてもよい。

【0033】また、上記の例では、圧電素子集合体1の表裏面を絶縁フィルム5でラミネートしたが、これは、圧電素子集合体1の圧電素子2が繰り返し応力を受けると、可撓性基板6と圧電結晶薄膜7とが剥離するおそれがあることを考慮したものである。ただし、本発明の分布センサにおいて、必ずしも上記のように絶縁フィルム

5によるラミネートを行う必要はない。

【0034】また、上記の例では、圧電素子2を、バイモルフ型薄膜ピエゾによって構成しているが、これに限らず、ユニモルフ型であっても差し支えない。

【0035】そして、上記圧電素子2の形成方法は、水熱合成法に限らず、どのような方法によっても差し支えないが、1μm以上の均一な圧電結晶膜を形成するには、上記の例のように、特開平9-217178号公報および特開平9-278436号公報に開示されているような水熱合成法を用いることが最適である。そして、*10

〔水熱合成時の金属塩、アルカリの好適濃度〕

硝酸鉛	0.1 ~ 1.0 mol / リットル
オキシ塩化ジルコニウム	0.05 ~ 2.0 mol / リットル
四塩化チタン	0 ~ 0.5 mol / リットル
水酸化カリウム	2.5 ~ 8.0 mol / リットル

【0037】このようにして得られた圧電素子2は、その圧電定数および曲げ剛性が特定の範囲内に設定されたものであるため、圧力センサ、力センサ、荷重センサ等に用いた場合、低荷重でも必ずしも増幅器を必要としない10mV以上の出力レベルを有し、しかも感知面が柔軟で対象物体の表面を損傷しないだけでなく、圧力変化に対し優れた感度と応答性を有するセンサとなる。そして、非常に薄くて嵩張らない形状に設定することができ、また簡単な構成であることから安価で経済的である、という利点を有している。

【0038】なお、上記圧電定数は、つぎのようにして求められるものである。すなわち、まず、図5(a)、(b)および図6に示すように、電極層20'が形成さ※

$$\text{圧電定数 (d}_{31}\text{)} = 4 L^3 C V / \{ 3 b t E d (L_2^2 - L_1^2) \} \cdots (1)$$

V: 出力電圧

d: 変位量

C: インピーダンス

*インピーダンスアナライザにより、片側の圧電結晶薄膜部分の周波数100Hzにおけるインピーダンスを測定。

E: ヤング率

$$\text{曲げ剛性 (D)} = E t^3 / \{ 12 (1 - \nu^2) \} \cdots (2)$$

E, t: 式(1)と同じ

ν: ポアソン比 (= 0.3)

【0042】図7は、本発明の分布センサの他の実施の形態を示している。この実施の形態では、分布センサは、圧電素子集合体1(図2参照)が支持部材によって持ち上げ保持されている。すなわち、この分布センサは、上記一実施の形態の分布センサにおける各圧電素子2が、端子が所要のパターンに形成された絶縁フィルム(図示せず)を介して、その裏面の四隅に設けられた支持スペーサ3によって、下地基材4上に、所定厚みだけ持ち上げ保持された構成になっている。それ以外の部分は、上記一実施の形態と同様であり、同様の部分には同じ符号を付している。なお、図7では、圧電素子2の積

*なかでも、水熱合成時に、オートクレーブ10への鉛直方向の振動を、3~50Hzの範囲内でかけ、金属塩(硝酸鉛、オキシ塩化ジルコニウム、四塩化チタン)およびアルカリ(水酸化カリウム)の混合水溶液中の各々の濃度を下記のように設定することにより、圧電定数0.1~20pC/N、曲げ剛性1.0×10⁻²~1.0×10³N・mmの特性を示す圧電素子2を得ることが、優れた分布センサ性能を得る上で、好適である。

【0036】

※れた圧電素子21を、固定具40で支受し、図6において矢印で示すように、片持ちの先端部中央(Pで示す)に荷重をかける。そして、上記点Pから1.5mmだけ内側の測定点Qの変位量をレーザー変位計で測定するとともに、片側の圧電結晶薄膜からの出力電圧をA/D変換器で測定する。このようにして得られた測定値(=出力電圧ピーク値と変位量の比、10回測定して最小二乗法により算出)と、図5(a)、(b)に示す構成上のファクターを用い、下記の式(1)によって算出することができる。

【0039】

【数1】

30 ★* J I S Z 2 2 2 4 1 に従って測定後、弾性領域の応力一歪みの傾きから算出。

L, b, t, L₁, L₂: 図5(a), (b)に示す。

【0040】また、上記曲げ剛性は、上記測定値等を用いて下記の式(2)によって求めることができる。

【0041】

【数2】

層構造および端子等を省略している。

【0043】上記支持スペーサ3および下地基材4は、樹脂、熱可塑性エラストマー(TPE)、ゴム、金属、無機材料等、ある程度強度を有するものであればどのような材質であっても差し支えない。そして、その成形方法も、単に下地基材4と支持スペーサ3とを接着させる方法だけでなく、材質に応じて適宜の方法を採用することができる。

【0044】例えば、樹脂やTPE、ゴムを用いる場合、プレス成形やトランスファー成形、インジェクション成形等によって、上記支持スペーサ3と下地基材4を一体的に成形することができる。

【0045】また、下地基材4上の、支持スペーサ3を

形成する予定部分に、レジストを塗工して硬化させることにより、支持スペーサ3を形成することができる。あるいは、下地基材4と銅箔を積層した積層体を準備し、銅箔の不用部分をエッチング液等によってエッチング除去することにより、銅箔残部を支持スペーサ3とすることができる。

【0046】上記支持スペーサ3および下地基材4からなる支持部材と、上記圧電素子2との一体化は、通常、上記支持スペーサ3の上面と上記絶縁フィルムの下面を、接着剤を介して接合することによって行われる。

【0047】なお、上記支持スペーサ3の厚み（下地基材4から圧電素子2を持ち上げ保持する高さ）Tは、0.1～20mmに設定することが好ましい。すなわち、支持スペーサ3の厚みTが0.1mmより小さいと、圧電素子2を持ち上げ保持する効果が小さく、測定範囲が小さくなり、逆に、支持スペーサ3の厚みTが20mmより大きいと、形状が薄型にならず、実用的でないからである。

【0048】このようにして得られた分布センサは、各圧電素子2が、支持スペーサ3によって0.1～20mmの厚み分だけ持ち上げ保持されているため、感知面が柔軟で対象物体の表面を損傷しないだけでなく、圧力変化に対し優れた感度と応答性を発揮する。また、圧電素子2と支持スペーサ3と下地基材4とは一体で製造することができるため、高密度化（1素子の小型化）に対応しやすい。また、従来と比較して1つ1つ圧力センサを並べていく作業が不要となる。さらに、上記一実施の形態と同様の作用・効果を奏する。

【0049】なお、この実施の形態においても、必ずしも上記のように絶縁フィルムによるラミネートを行う必要はない。したがって、本発明において、「圧電素子2の裏面側に支持部材を設ける」とは、圧電素子2の裏面に、直接、支持部材を接合する場合と、上記絶縁フィルム等を介して接合する場合の両方を含む趣旨で用いている。

【0050】また、圧電素子2を持ち上げ保持する支持部材の形態も、上記の例に限らず、種々の形態に設定することができる。例えば、支持スペーサ3によって、圧電素子2の裏面を、四隅で支持するのではなく、図8に示すように、下地基材4上に、左右2本の帯状の支持スペーサ3aを設け、圧電素子2（図7参照）の左右両端部を支持するようにしてもよい。

【0051】また、図9に示すように、下地基材4上の周縁部全体に、環状に支持スペーサ3cを設け、圧電素子2（図7参照）の周縁部全体を支持するようにしてもよい。

【0052】そして、様々な形状の対象物体、センサ設置空間に合わせて、圧電素子2を適宜の形状にすることができ、その形状に合わせて、支持部材の形状も適宜変更することができる。例えば、図10に示すように、三

角形状の圧電素子2'（図10では積層構造および端子等を省略している）に対しては、その三つの角部を支持スペーサ3dで支持するとともに、下地基材4の形状も、それに合わせて三角形にすることができる。もちろん、図11に示すように、その周縁部全体を、環状スペーサ3eで支持することもできる。

【0053】また、図12に示すように、円形状の圧電素子2''（図12では積層構造および端子等を省略している）に対しては、円環状スペーサ3fで支持することもできる。

【0054】さらに、上記一連の支持スペーサ3等を用いるのに代えて、図13に示すように、圧電素子2（図13では積層構造および端子等を省略している）を、ゴム、TPE、ゲル、発泡体等の弾性材で構成された弾性体30で全面的に支持するようにしてもよい。その場合、下地基材4はあってもなくてもよい。そして、上記弾性体30は、圧電素子2の変形にできるだけ追従するものであることが好ましく、そのためには、貯蔵弾性率（動的粘弾性測定法により測定）が $1.0 \times 10^5 \sim 1.0 \times 10^{10} \text{ dyn/cm}^2$ の弾性材を用いることが好適である。ただし、その厚みは、上記一連の支持スペーサ3等と同様、0.1～20mmに設定する必要がある、より好ましくは0.5～20mmである。

【0055】また、本発明において、センサの出力をより安定化させるために、例えば図14に示すような、下面中央に凸部31が形成された凸カバー32を、図15に示すように、圧電素子2の上に、端子が所要のパターンに形成された絶縁フィルム（図示せず）を介して、重ねて一体化することができる。このようにすると、支持スペーサ3等によって中央部が空隙となるよう支持された構造のセンサ（図7等参照）、あるいは全体が柔軟な弾性体30で支持された構造のセンサ（図13参照）に対し、上方から荷重がかかった場合に、上記凸部31で集中的に圧電素子2を押圧することができるため、より大きく、しかも偏りなく圧電素子2が変位する。

【0056】上記凸カバー32において、凸部31は、圧電素子2と上記絶縁フィルム（図示せず）を介して接触もしくは接着すれば足りるのであり、その形状は、球状、半球状、直方体状等、どのような形状であっても差し支えはない。また、寸法も、圧電素子2を押圧する際、これをスムーズに押すことができれば、どのような寸法であっても差し支えはない。そして、上記凸カバー32は、下地基材4と支持スペーサ3からなる支持部材を作製する方法と同様にして作製することができる。

【0057】この場合も、圧電素子2と支持スペーサ3と下地基材4と凸カバー32とは一体で製造することができるため、高密度化（1素子の小型化）に対応しやすい。さらに、上記一実施の形態と同様の作用・効果を奏する。

【0058】なお、上記図7～図13に示す支持部材

は、一枚のシート状のように一体に形成されることが好ましい。すなわち、一枚の広い下地基材4上に、各圧電素子2に当接する配置で支持スペーサ3または弾性体30が形成されていることが好ましい。また、上記凸カバー32も、一枚のシート状に形成されることが好ましい。すなわち、一枚の広い凸カバー32の下面に、各圧電素子2の中央部に当接する配置で凸部31が形成されていることが好ましい。その一例を図16に示す。

【0059】また、センサを対象物体に沿わせた形状（例えば曲面状）にした場合には、下地基材4や凸カバー32についても同様の形状にするのが好ましい。

【0060】つぎに、実施例について比較例と併せて説明する。

【0061】

【実施例1】硝酸鉛120mmol、オキシ塩化ジルコニウム58.3mmolおよび水酸化カリウム1642mmolを水に溶解した溶液360ミリリットルを、テフロン内張りオートクレーブ容器内に入れた。また、チタン箔（可撓性基板）を、所定形状に切断し、洗浄、乾燥したのち、上記オートクレーブ内に装入して密閉した。そして、オイル（シリコンオイル）バス中で、加圧下で約150℃で約48時間、鉛直方向に30Hzの振動を加えて水熱合成処理を行うことにより、チタン箔の両面に、所定厚みでチタン酸ジルコン酸鉛（PZT）の結晶層（圧電結晶薄膜）を形成した。そして、RFスパッタリング法により、上記PZT層の表面に、厚み10nmの白金電極層を形成することにより、圧電素子62（図17参照。なお、図17では、圧電素子62の可撓性基板と圧電結晶薄膜との積層構造を省略している）を得た。

【0062】そして、図17に示すように、上記圧電素子62を縦2列・横2列の平面的なマトリックス状に並べて一枚のシート状に形成した圧電素子集合体61を作製し、この圧電素子集合体61を銅箔による電極63および端子64が所要のパターンに形成された絶縁フィルム（保護フィルム）65で上下から挟むことにより、圧電積層体60を作製した。なお、上記銅箔（電極63および端子64）の厚みは18μm、絶縁フィルム65の材質はポリエチレンテレフタレート樹脂（PET）で、その厚みは25μmである。また、絶縁フィルム65の裏面に形成される粘着剤層（接着剤層）はアクリル系ポリマーで形成されており、その厚みは5μmである。

【0063】一方、図18に示す支持部材66（下地基材66aおよび支持スペーサ66b）をつぎのようにして作製した。すなわち、材料としてポリカーボネート樹脂（PC）を用い、インジェクション成形により、支持

部材66を一体成形した。そして、上記圧電積層体60と支持部材66とを接合することにより実施例1のセンサを得た。

【0064】

【実施例2】さらに、図19に示す凸カバー67を上記支持部材66（図18参照）と同様にして一体成形した。そして、上記実施例1品の各圧電素子62（図17参照）の中央部に凸部68が位置するように凸カバー67を接合することにより実施例2のセンサを得た。

【0065】

【比較例1】上記実施例と同様にして得た各圧電素子62（図17参照）を、銅箔による電極および端子が形成された絶縁フィルム（保護フィルム）で上下から挟むことにより、圧電積層体を作製した。また、図18に示す支持部材66と同様な製法により図7に示すような4点支持の支持部材を作製した。そして、これら圧電積層体と支持部材とを接合することにより比較例1のセンサを得た。さらに、これらセンサを一枚のシート状に形成せずに、1つ1つ縦2列・横2列の平面的なマトリックス状に並べた。

【0066】

【比較例2】図14に示す凸カバー32を上記支持部材66（図18参照）と同様にして一体成形した。そして、上記比較例1品の各圧電素子62（図17参照）の中央部に凸部31が位置するように凸カバー32を接合することにより実施例2のセンサを得た。さらに、これらセンサを一枚のシート状に形成せずに、1つ1つ縦2列・横2列の平面的なマトリックス状に並べた。

【0067】これらの実施例品および比較例品に対し、図20に示すように、各圧電素子62（図20では積層構造および端子等を省略している）の中央部に向かって、5cm上方から直径10.0mmの剛球69を落下させることにより衝撃荷重を加え、A/D変換器により出力電圧を測定した（測定値は10回の平均値）。そして、各圧電素子62からのピーク出力電圧の平均値および標準偏差を算出した。その結果、センサ特性については、上記平均値が10mV以上、標準偏差が0.5以下かつすべての圧電素子62で規則性のある波形（図21参照）を示すセンサを○と判定した。また、作業性については、対象物体への取り付け時間が短時間である場合を○、長時間である場合を×と判定した。さらに、総合判定として、センサ特性および作業性の判定が両方とも○のものを○、それ以外のものを×と判定した。その結果を下記の表1に併せて示す。

【0068】

【表1】

		実施例1	実施例2	比較例1	比較例2
圧電素子の支持構造		4点支持	4点支持	4点支持	4点支持
凸カバーの有無		有	無	有	無
分布センサ特性	ピーク出力電圧の平均値 (mV)	256	226	254	227
	標準偏差	0.3	0.5	0.3	0.5
	判定	○	○	○	○
作動性	取り付け性	良好	良好	不良	不良
	判定	○	○	×	×
総合判定		○	○	×	×

【0069】上記表1より、実施例の分布センサが1つ1つ並べた比較例の分布センサと同様のセンサ性能をもつことがわかる。なお、比較例品では、センサを高密度化すればするほど取り付け時間がかかるようになる。

【0070】

【発明の効果】以上のように、本発明の分布センサによれば、圧力、力等の分布を測定する際、その対象となる物体の表面に、面として取り付けたり、物体の内部に埋め込んだりして、簡単に、高密度かつ高感度で圧力、力等の分布測定を行うことができる。また、安価で経済的であり、しかも、繰り返し使用しても性能が変化しない。

【0071】また、本発明において、上記圧電素子の裏面側に、支持部材が設けられており、上記支持部材によって各圧電素子が持ち上げ保持されている場合には、感知面が柔軟で対象物体の表面を損傷しないだけでなく、圧力変化に対し優れた感度と応答性を発揮する。そのなかでも特に、上記圧電素子の表面側に、一枚のシート状カバーが設けられ、上記カバー下面に、持ち上げ保持された各圧電素子の表面を部分的に押圧しうる凸部が所定間隔で突設されている場合には、上記凸部で集中的に圧電素子を押圧することができるため、より大きく、しかも偏りなく圧電素子が変位し、より優れた感度と応答性を発揮する。

【0072】さらに、本発明において、上記圧電素子が、圧電定数 $0.1 \sim 20 \text{ pC/N}$ 、曲げ剛性 $1.0 \times 10^{-2} \sim 1.0 \times 10^3 \text{ N} \cdot \text{mm}$ の特性を示すものである場合には、とりわけ優れた出力性能を備えている。

【0073】また、本発明において、上記圧電結晶薄膜として鉛を含有する複合酸化物薄膜を用いたセンサ、そして、上記圧電結晶薄膜を水熱合成によって形成したセンサは、特に優れた性能を備えている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の分布センサの一実施例を示す分解斜視図である。

【図2】上記実施例に用いる圧電素子集合体の説明図である。

【図3】上記実施例に用いる圧電素子の説明図である。

【図4】上記実施例に用いる圧電素子の製法の説明図である。

【図5】(a), (b)は圧電素子の出力電圧測定法の説明図である。

【図6】圧電素子の出力電圧測定法の説明図である。

【図7】本発明の分布センサの他の実施例を示す斜視図である。

【図8】上記支持部材の変形例の説明図である。

【図9】上記支持部材の変形例の説明図である。

【図10】上記支持部材の変形例の説明図である。

【図11】上記支持部材の変形例の説明図である。

【図12】上記支持部材の変形例の説明図である。

【図13】上記支持部材の変形例の説明図である。

【図14】本発明に用いられる凸カバーの説明図である。

【図15】上記凸カバーを取り付けた状態を示す説明図である。

【図16】上記凸カバーを取り付けた状態を示す説明図である。

【図17】実施例における圧電積層体を示す分解斜視図である。

【図18】実施例における支持部材を示す斜視図である。

【図19】実施例における凸カバーを示す斜視図である。

【図20】実施例におけるセンサの出力電圧測定法を示す説明図である。

【図21】実施例における出力電圧波形を示す線図である。

【図22】従来の圧力の分布を知る方法を示す説明図である。

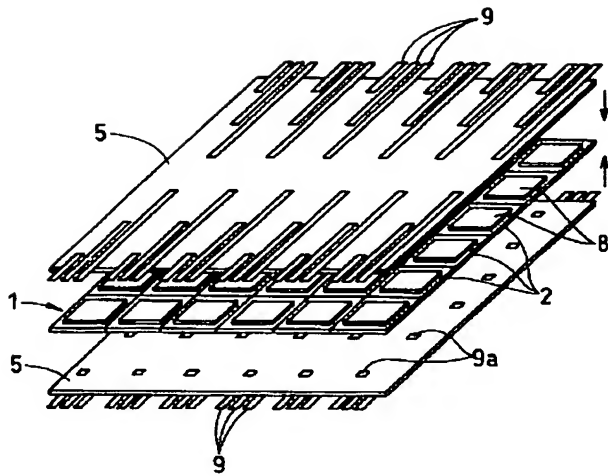
【図23】従来の圧力の分布を知る方法を示す説明図である。

【符号の説明】

- 1 圧電素子集合体
- 2 圧電素子
- 5 絶縁フィルム
- 8 電極層

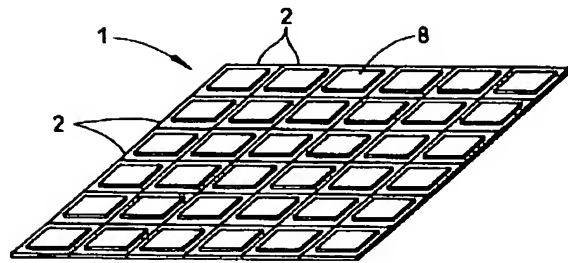
9 端子

【図1】

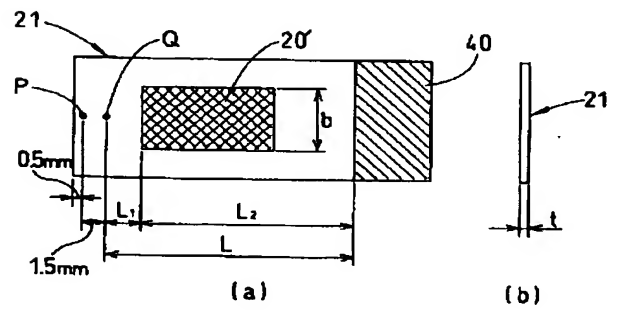


- 1 : 圧電素子集合体
2 : 圧電素子
5 : 絶縁フィルム
8 : 電極層
9 : 端子

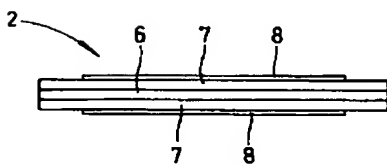
【図2】



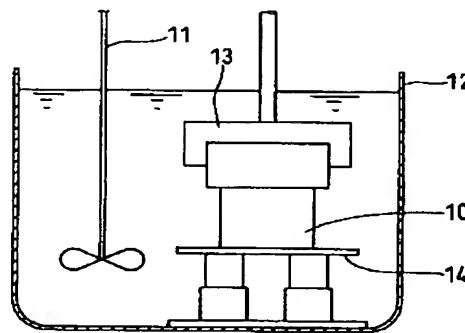
【図5】



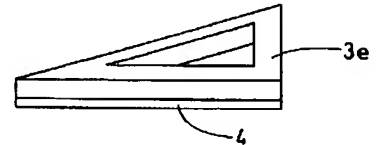
【図3】



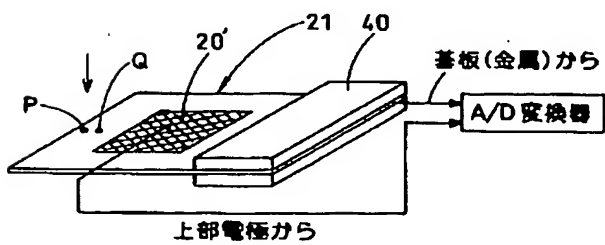
【図4】



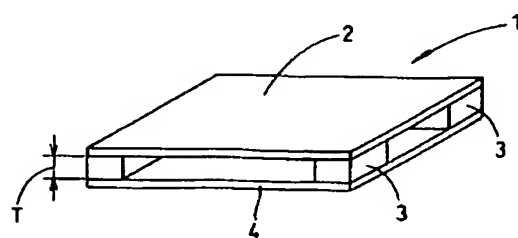
【図11】



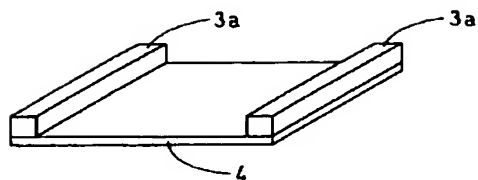
【図6】



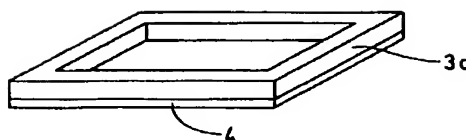
【図7】



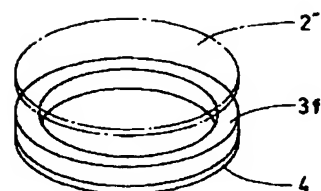
【図8】



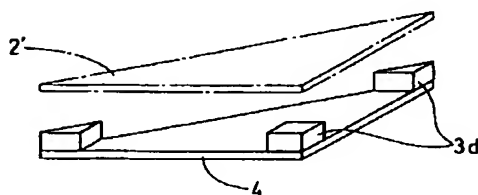
【図9】



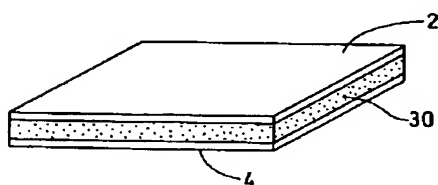
【図12】



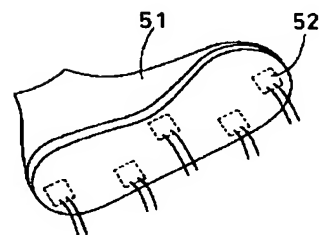
【図10】



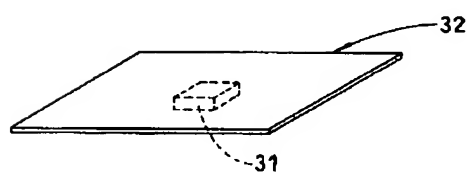
【図13】



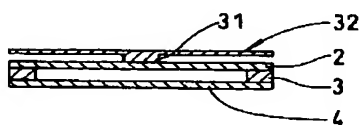
【図22】



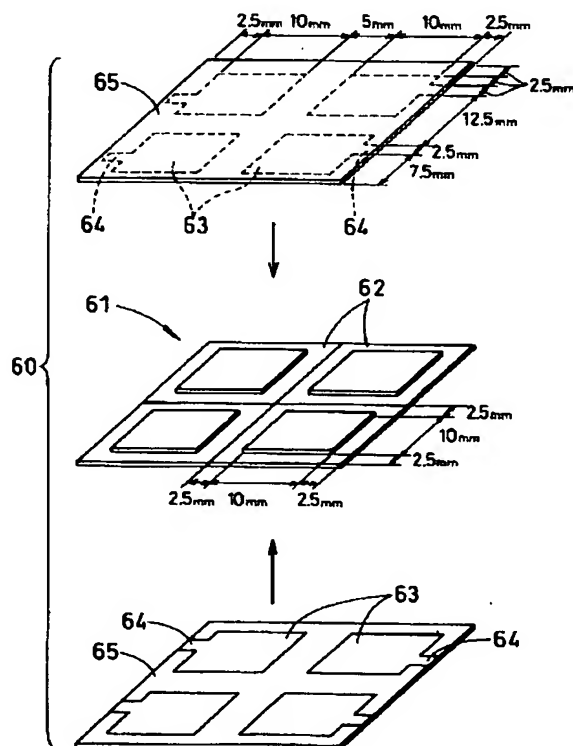
【図14】



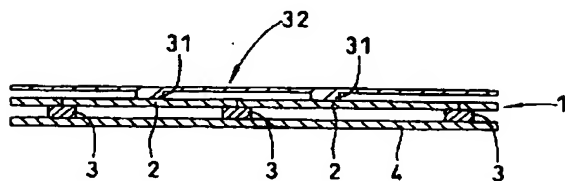
【図15】



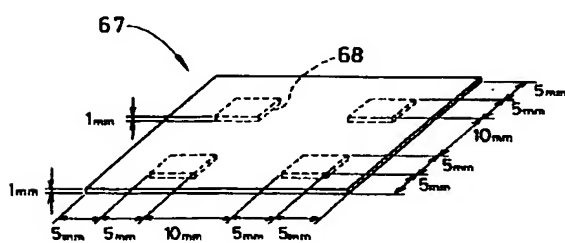
【図17】



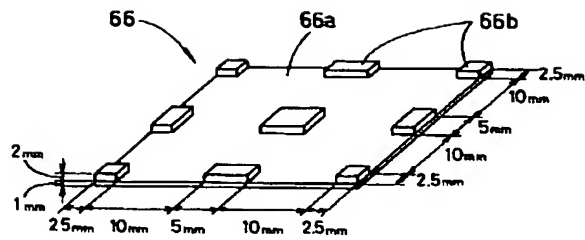
【図16】



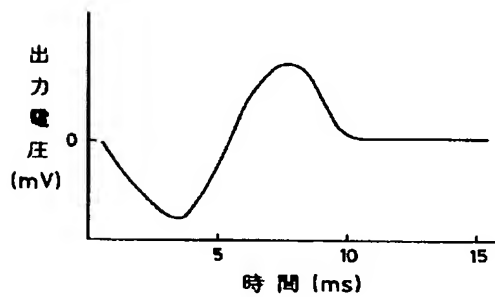
【図19】



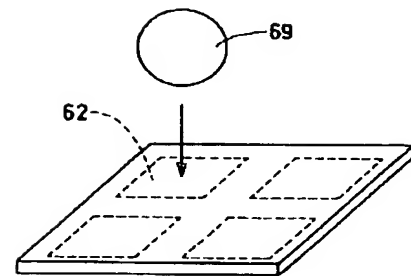
【図18】



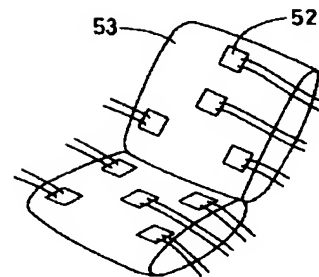
【図21】



【図20】



【図23】



フロントページの続き

(72)発明者 日比野 真吾
愛知県小牧市大字北外山字哥津3600番地
東海ゴム工業株式会社内

Fターム(参考) 2F051 AA01 AA18 AA19 AA21 AB08
AC01 BA08

【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板(1)と、前記基板(1)に対向配設した基板(2)と、前記基板(1)(2)相互間に設けられたシート状のセンサー主体(3)と、基板(1)(2)のうち少なくとも一方の基板と前記センサー主体(3)との間に設けられた弾性板(4)とを積層して構成したものであり、前記基板(1)(2)のうち少なくとも一方に入力部(5)を設けると共に、前記センサー主体(3)を、一対の可撓性を有するシート状フィルム(30)(30)と、前記シート状フィルム(30)(30)の対向面側にそれぞれ90°角度間隔でスクリーン印刷された電極(Cx+)(Cx-)(Cy+)(Cy-)と、対向するシート状フィルム(30)(30)の電極相互間に形成された感圧抵抗体(31)とから構成されていることを特徴とする力・モーメントセンサー。

【請求項2】 少なくとも一方の基板のセンサー主体(3)側面に凸部(6)を具備させ、前記入力部(5)に外力が加わったときには、その外力が前記凸部(6)を介してセンサー主体(3)に伝達されるようにしてあることを特徴とする請求項1記載の力・モーメントセンサー。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】この発明は、力・モーメントセンサーに関するものである。

【0002】

【従来の技術】この種のセンサーとしては、既に半導体の単結晶基板を利用して力乃至モーメントを検出するものが知られており、例えば図10～図13に示すような構成としてある。このセンサーは、図11に示すように、機械的変形により電気抵抗が変化する4個の歪みゲージR(R1, R2, R3, R4とする)を直線上に備えた単結晶基板90と、中心部と周辺部のいずれか一方を入力部とすると共に他方を作用部とした起歪体9とから構成されており、図13に示すように、前記歪みゲージRの配列線が起歪体9の中心線L1と一致する態様で、単結晶基板90が起歪体9の表面に接着固定してある。

【0003】このものでは、上記起歪体9の作用部に外力F(機械的外力)が加わると、図12に示すように、単結晶基板90が変形すると共に、これに配設された各歪みゲージRが変形してこれの電気抵抗は変化(引張方向の歪みが歪みゲージRに加われば抵抗値は増加し、圧縮方向の歪みが歪みゲージRに加われば抵抗値は減少)することとなる。

【0004】したがって、4個の歪みゲージRをそれぞれ図14に示す如く電氣的ブリッジ回路92を接続すると、前記抵抗変化を電圧変化として検出することができ、歪みゲージRの配列線と直行する軸回りのモーメン

2

トMxを出力電圧として検出できる。ところが、上記センサーでは、①各歪みゲージRを単結晶基板90の適正位置に取付けること及び、単結晶基板90を起歪体9の適正位置に取り付けることに熟練を要し、②起歪体9におけるダイヤフラム部91の製作(機械加工)には極めて高い精度が要求されるという問題があった。即ち、上記力・モーメントセンサーは最重要部分である検出部の製作が困難であり、このため高コストとなると共に量産性に欠けるという問題を有するものとなっていた。

10 【0005】

【発明が解決しようとする課題】そこで、この発明では、低コストで製造でき、且つ量産性に優れた力・モーメントセンサーを提供することを課題とする。

【0006】

【課題を解決する為の手段】この発明の力・モーメントセンサーは、基板1と、前記基板1に対向配設した基板2と、前記基板1, 2相互間に設けられたシート状のセンサー主体3と、基板1, 2のうち少なくとも一方の基板と前記センサー主体3との間に設けられた弾性板4とを積層して構成したものであり、前記基板1, 2のうち少なくとも一方に入力部5を設けると共に、前記センサー主体3を、一対の可撓性を有するシート状フィルム30, 30と、前記シート状フィルム30, 30の対向面側にそれぞれ90°角度間隔でスクリーン印刷された電極Cx+, Cx-, Cy+, Cy-と、対向するシート状フィルム30, 30の電極相互間に形成された感圧抵抗体31とを有するものとしている。

30

【0007】尚、この発明のセンサーにおいて、少なくとも一方の基板のセンサー主体3側面に凸部6を具備させ、前記入力部5に外力が加わったときには、その外力が前記凸部6を介してセンサー主体3に伝達されるようにすることが好ましい。

【0008】

【作用】この発明は次のように作用をする。この力・モーメントセンサーの最重要部であるセンサー主体(検出部)は、各シート状フィルム30にスクリーン印刷によって電極を形成させ、この電極相互間に感圧抵抗体31を介在させるだけで製作できる。即ち、従来の技術の欄に記載したセンサーの如き熟練や時間を要する作業が全く不要となる。

40

【0009】したがって、この力・モーメントセンサーは、低コストで製造でき且つ量産性に優れたものとなる。

【0010】

【実施例】以下、この発明の構成を実施例として示した図面に従って説明する。この実施例の力・モーメントセンサーは、図1や図2に示すように、入力軸5を有する基板1と、前記基板1に対向配設した基板2と、前記基板1, 2相互間に設けられたシート状のセンサー主体3と、前記センサー主体3と基板1との間に設けられた弾

50

性板4とを有するもので、これらを積層した状態で基板1, 2相互を小ネジNで結合するようにして構成されている。

【0011】基板1は円形樹脂板により構成されており、図3に示すように、その下面における外周部近傍及び中心部近傍には断面R状の凸部6を具備させてある。基板2は上記基板1と同径の円形樹脂板により構成されており、同図に示すように、その中央部に小ネジNが貫通する貫通孔20を穿設すると共にその下面中央部に小ネジNの頭部を没入させる円形凹部21を設けてある。

【0012】弾性板4はシリコンゴムにより構成されており、図2や図3に示すように、基板1, 2と同径の円形板状に形成されていると共にその中央部に小ネジNが貫通する孔40を穿設してある。センサー主体3は、図3～図5に示すように、可撓性を有する一対のシート状フィルム30, 30と、前記シート状フィルム30, 30の対向面側にそれぞれ90°角度間隔で形成された電極Cx+, Cx-, Cy+, Cy-と、前記電極Cx+, Cx-, Cy+, Cy-の中央部に形成された電極Czと、対向するシート状フィルム30, 30の各電極に塗布された抵抗インク31' (手段の欄の感圧抵抗体31と対応)とを有している。上記シート状フィルム30は、図2や図3に示すように、中央部にビス貫通孔30cを有した基板1, 2と同径の電極配設部30aとこれから突出する端子配設部30bとから成るもので、その厚みが30～100 μm程度に設定されたPETフィルムにより構成されている。

【0013】電極Cx+, Cx-, Cy+, Cy-, Czは、導電性インク(所謂銅インク)をスクリーン印刷して形成するものとしてある。抵抗インク31'は、二酸化チタン充填剤、ビニル樹脂結合剤及びブチルセロソルブアセテート溶剤を含有する絶縁インクに、グラファイト、ビニル樹脂及びブチルセロソルブアセテートを含有する導電インクを混入したものである。尚、インクの抵抗は、塗料の構成成分である絶縁成分と導電成分の相対的な割合を変えることに容易に変化させることができる。

【0014】又、この実施例のセンサー主体3では、図3に示す如く組立状態において電極配設部30a, 30aにおける外周部近傍及びビス貫通孔30c近傍部分等を接着剤33で密封してあり、これにより、センサーとしての機能を低下させる塵等が電極相互間に侵入しないようにしてある。この力・モーメントセンサーは上記のように構成されているから、操作軸5に力が加わると、凸部6→弾性板4→センサー主体3の経路で前記力が伝達される。そして、例えば、図6～図8に示す如き回路を使用すると、X軸回りのモーメントMx, Y軸回りのモーメントMy, Z方向の力Fzを電圧VMx, VMy, VFzとして検出でき、これら電圧VMx, VMy, VFzの値の「正」「負」から操作軸5に作用する外力の方向を、電

圧VMx, VMy, VFzの絶対値により操作軸5に作用する外力の大きさを、それぞれ知ることができる。ここで、図6～図8に示した回路において、Rは固定抵抗であり、Rx+は抵抗インクを介した電極Cx+と電極C相互間の抵抗、Rx-は抵抗インクを介した電極Cx-と電極C相互間の抵抗、Ry+は抵抗インクを介した電極Cy+と電極C相互間の抵抗、Ry-は抵抗インクを介した電極Cy-と電極C相互間の抵抗、Rzは抵抗インクを介した電極Czと電極C相互間の抵抗である。

【0015】尚、上記実施例では、弾性板4を、センサー主体3と基板1との間にのみ設けるようにしたが、これに限定されることなく、センサー主体3と基板2との間にのみ設けるようにしてもよく、更には、センサー主体3の上下側に設けるようにしてもよい。また、上記実施例の弾性板4にかえて、図9に示すように、中央部のみを厚肉に形成し、この厚肉部下面を基板2の上面と当接させる態様で設けるようにすれば、弾性板4の弾性復帰機能により、操作軸5の原点復帰が良好なものとなる。

【0016】更に、上記実施例ではシート状フィルム30をPETフィルムとしたが、これに限定されることなく、ポリエステルフィルム等も採用できる。他方、上記実施例では、操作軸5に作用するZ方向の力を電圧として検出するために電極Czを設けるようにしたが、前記力を電圧として検出する必要がない場合には電極Czを設ける必要はない。

【0017】

【発明の効果】この発明は上記のような構成であるから、次の効果を有する。作用の欄の記載から、低コストに製造でき且つ量産性に優れた力・モーメントセンサーを提供することができた。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例の力・モーメントセンサーの外観斜視図。

【図2】前記力・モーメントセンサーの分解斜視図。

【図3】前記力・モーメントセンサーの断面図。

【図4】前記力・モーメントセンサーの基板に形成されている電極を示す図。

【図5】前記センサー主体等の断面拡大図。

【図6】前記力・モーメントセンサーの操作軸に作用したX軸方向のモーメントをこれに相当する電圧に変換するための回路図。

【図7】前記力・モーメントセンサーの操作軸に作用したY軸方向のモーメントをこれに相当する電圧に変換するための回路図。

【図8】前記力・モーメントセンサーの操作軸に作用したZ軸方向の力をこれに相当する電圧に変換するための回路図。

【図9】他の力・モーメントセンサーの断面図。

【図10】従来の力・モーメントセンサーの外観斜視

図。

【図11】従来の力・モーメントセンサーの断面図。

【図12】従来の力・モーメントセンサーに外力（機械的外力）を加えたときに、起歪体が変形した状態を示す図。

【図13】従来の力・モーメントセンサーの歪みゲージと中心線との関係を示した図。

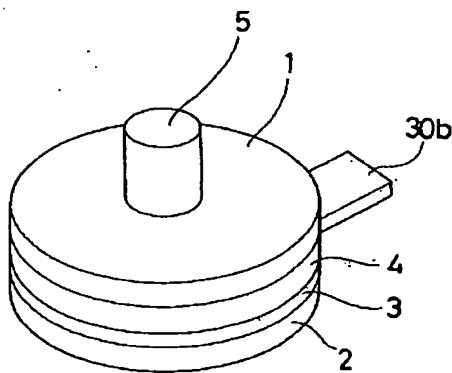
【図14】従来の力・モーメントセンサーに組込む電気的ブリッジ回路。

【符号の説明】

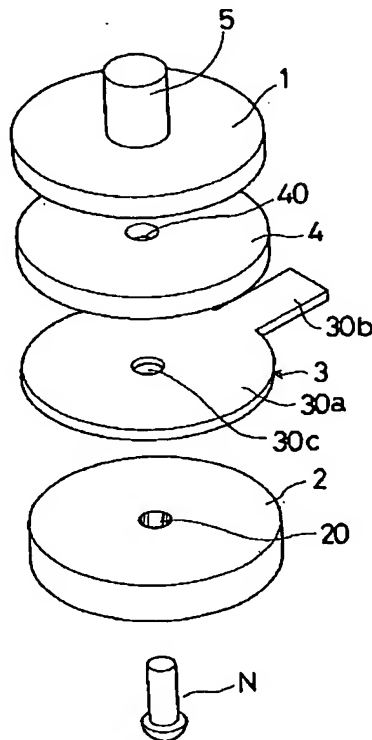
1 基板

2 基板
3 センサー主体
4 弾性板
5 入力部
6 凸部
30 シート状フィルム
31 感圧抵抗体
Cx+ 電極部
Cx- 電極部
10 Cy+ 電極部
Cy- 電極部

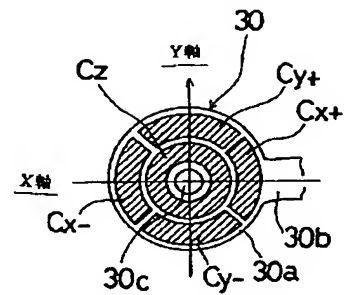
【図1】



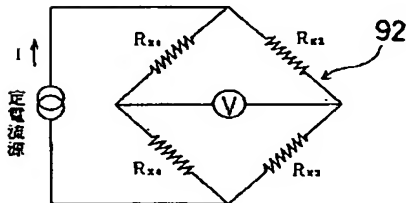
【図2】



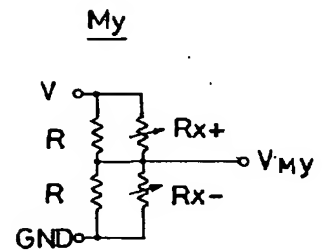
【図4】



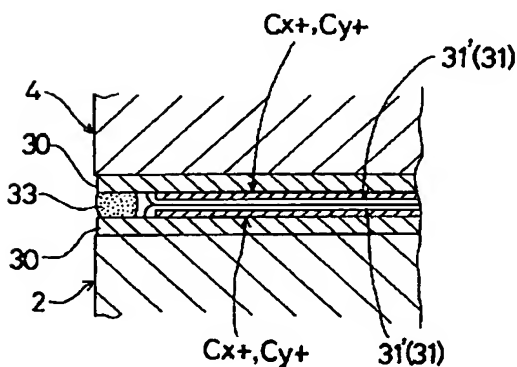
【図14】



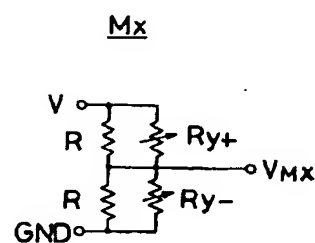
【図7】



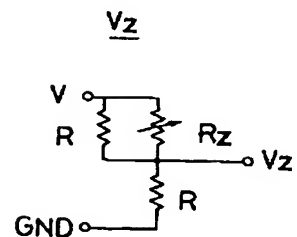
【図5】



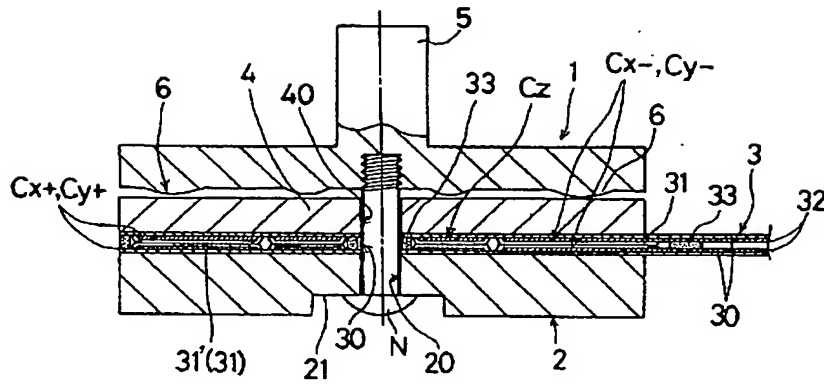
【図6】



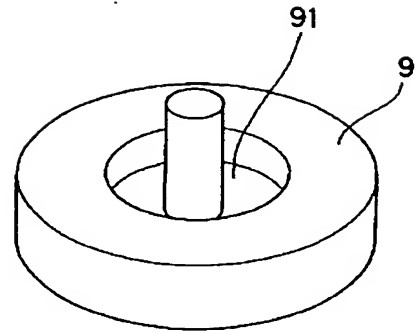
【図8】



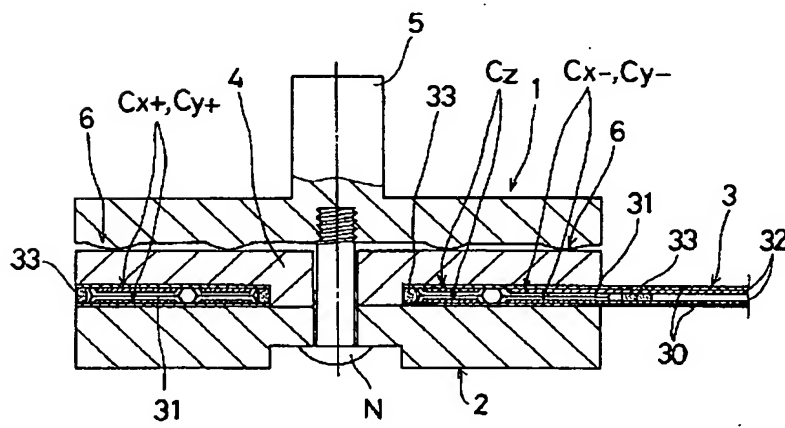
【図3】



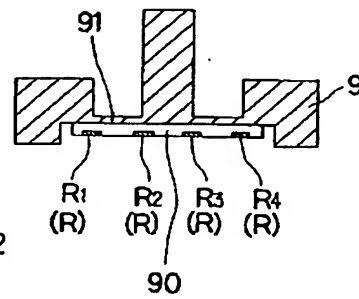
【図10】



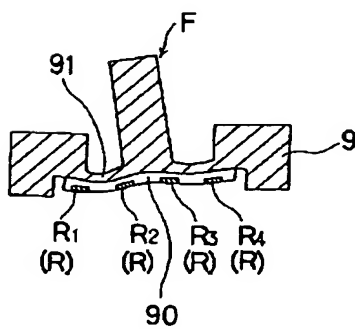
【図9】



【図11】



【図12】



【図13】

